

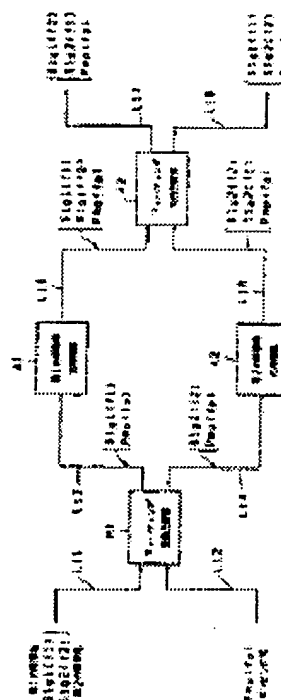
LIGHT FREQUENCY EXCHANGE DEVICE

Patent number: JP2151842
Publication date: 1990-06-11
Inventor: INOUE YASUSHI
Applicant: NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
Classification:
 - international: G02F2/02; H04B10/02
 - european:
Application number: JP19880307233 19881205
Priority number(s):

Abstract of JP2151842

PURPOSE: To separate 1st and 2nd signal light beams and insert pumping light at the same time and to decrease the number of components and simplify the constitution by arranging an optical multiplexer demultiplexer which multiplexes the signal light beams and pumping light on the input side of a semiconductor optical amplifier and inputs the multiplexed light to the semiconductor amplifier.

CONSTITUTION: The 1st signal light beams Sig1 and Sig2 whose light frequencies are to be exchanged are inputted to one input end of the optical multiplexer demultiplexer M1 and the pumping light Pmp whose light frequency is set to an intermediate value between the light frequencies of the signal light beams Sig1 and Sig2 is inputted. The optical multiplexer demultiplexer M1 separates the input signal light beams Sig1 and Sig2 and also multiplexes the pumping light Pmp to output the resulting light beams to two semiconductor optical amplifiers A1 and A2. Those semiconductor optical amplifiers A1 and A2 generate light-frequency converting light beams, which are outputted to an optical multiplexing means M2. The optical multiplexing means M2 multiplexes the two input light-frequency converting light beams to output light-frequency converted signal light. Consequently, the constitution is simplified and the number of components is decreased.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平2-151842

⑬ Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)6月11日

G 02 F 2/02
H 04 B 10/02

7348-2H

8523-5K H 04 B 9/00 T

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全15頁)

⑮ 発明の名称 光周波数交換装置

⑯ 特 願 昭63-307233

⑰ 出 願 昭63(1988)12月5日

⑱ 発 明 者 井 上 恭 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

⑳ 代 理 人 弁理士 吉田 精孝

明 細 書

1. 発明の名称

光周波数交換装置

2. 特許請求の範囲

(1) 互いに光周波数の異なる第1及び第2の信号光の光周波数を交換する光周波数交換装置において、

一の入力端から前記第1及び第2の信号光を、他の入力端からポンピング光を入力し、前記第1の信号光と前記ポンピング光とを合波して一の出力端に、前記第2の信号光と前記ポンピング光とを合波して他の出力端に出力する光合分波器と、

前記一の出力端からの出力光を入力し、前記第1の信号光の光周波数を前記第2の信号光の光周波数に変換した第1の光周波数変換光を発生する第1の半導体光増幅器と、

前記光合分波器の他の出力端からの出力光を入力し、前記第2の信号光の光周波数を前記第1の信号光の光周波数に変換した第2の光周波数変換光を発生する第2の半導体光増幅器と、

前記第1及び第2の半導体光増幅器による第1及び第2の光周波数変換光を合波する光合波手段とを備え、

前記ポンピング光の光周波数を、前記第1及び第2の信号光の光周波数との光周波数差がいずれに対しても等しくなるように設定した

ことを特徴とする光周波数交換装置。

(2) 互いに光周波数の異なる第1及び第2の信号光の光周波数を交換する光周波数交換装置において、

一の入力端から前記第1及び第2の信号光を、他の入力端から第1及び第2のポンピング光を入力し、前記第1の信号光と前記第1及び第2のポンピング光とを合波して一の出力端に、前記第2の信号光と前記第1及び第2のポンピング光とを合波して一の出力端に出力する光合分波器と、

前記一の出力端からの出力光を入力し、前記第1の信号光の光周波数を前記第2の信号光の光周波数に変換した第1の光周波数変換光を発生する第1の半導体光増幅器と、

前記光合分波器の他の出力端からの出力光を入力し、前記第2の信号光の光周波数を前記第1の信号光の光周波数に変換した第2の光周波数変換光を発生する第2の半導体光増幅器と、

前記第1及び第2の半導体光増幅器の出力光の中から前記第1及び第2の光周波数変換光のみを抽出し、かつ、これら第1及び第2の光周波数変換光を合波する光抽出合波手段とを備え、

前記第1のポンピング光の光周波数を、前記第1の信号光との光周波数差に対して、前記半導体光増幅器内の電子キャリアが応答可能であるように設定し、

かつ、前記第2のポンピング光の光周波数を、前記第2の信号光との光周波数差が前記第1の信号光と前記第1のポンピング光との光周波数差と等しくなるように設定した

ことを特徴とする光周波数交換装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、主に光通信システムに適用され、異

- 3 -

この誘導放出過程では、光が増幅される分、電子キャリアは減少する。また、この過程は相互作用する光強度に比例する。従って、光強度が大きいと、減少する電子キャリアの数も大きくなる。

電子キャリア数の大小は、増幅利得値に影響するのみでなく、光が伝播する媒質の屈折率にも影響を与える。即ち、誘導放出過程で電子キャリアが減少すると、増幅利得が減少するとともに、屈折率が増加する。電子キャリアの減少量は、誘導放出、即ち、入力光強度に依存するので、入力光強度により増幅利得及び屈折率が変化することになる。この現象を利用することにより、光周波数変換を行なうことが可能となる。

例えば、光周波数 f_1 の光と光周波数 f_2 ($f_1 < f_2$)の光が半導体光増幅器へ同時に入力されると、干渉効果により全体の光強度は、その差光周波数($f_2 - f_1$)でビート振動を起こす。上記したように、活性層内の電子キャリアは全体の光強度に応じて減少するので、電子キャリア数も差光周波数($f_2 - f_1$)で振動すること

- 5 -

なる信号光の光周波数を互いに入れ換える光周波数交換装置に関するものである。

(従来の技術)

光周波数の交換を行なうには、光周波数の変換を行なうことが基本となる。この光周波数変換法としては、種々の方法が従来より知られている。これらの中で、最も高効率に変換が可能な方法が、半導体光増幅器を用いた光周波数変換法である。

以下にこの光周波数変換法の原理について説明する。

半導体光増幅器は、通常の半導体レーザに発振しきい値以下の電流が注入された状態で、外部から光が入力されると、入力された光が半導体活性層内を通過する間に増幅されて出力するようになっている。

半導体光増幅器として用いられる半導体レーザには、共振器の共振特性をなくし増幅波長帯域を広げるため、通常両端面に反射防止膜を付加しており、その増幅機構は、活性層内の電子キャリアが光と相互作用する、いわゆる誘導放出による。

- 4 -

になる。これに伴ない、増幅利得及び屈折率が差光周波数($f_2 - f_1$)で振動する。このようにして、増幅利得が変化すると、当該半導体光増幅器の出力光の振幅が変化する。また、屈折率が変化すると光の媒質(活性層)を伝播する時間が変化するので、出力光の位相が変化する。即ち、入力光に対して一定光周波数($f_2 - f_1$)の振幅変調と位相変調が同時に行なわれることになる。

一般に変調された光は、その変調光周波数に応じた光周波数位置に側帯波を生じる。上記した例の場合、二つの入力光の光周波数は f_1 と f_2 であるので、($f_1 - (f_2 - f_1)$)と($f_2 + (f_2 - f_1)$)の光周波数位置に新たに光が発生する。従って、光周波数 f_1 または f_2 の光から光周波数($f_1 - (f_2 - f_1)$)または($f_2 + (f_2 - f_1)$)の光への光周波数変換が可能となる。

このように、光周波数変換が行なわれた半導体光増幅器からは、上記したように変換された光周波数変換光とともに、光周波数 f_1 、 f_2 の入力

- 6 -

光と同一の光も同時に出力される。従って、半導体光増幅器を光周波数交換装置に適用する場合には、その出力側に入力光と同一の光を除去するための、例えば光フィルタが配置される。

第2図は、前述の光周波数交換法を適用した従来の光周波数交換装置の構成図である。第2図において、 a_1 、 a_2 は半導体光増幅器、 HM_1 、 HM_2 、 HM_3 、 HM_4 はハーフミラー、 m_1 、 m_2 はミラー、 F_1 、 F_4 は光周波数 f_1 の光を透過させる光フィルタ、 F_2 、 F_3 は光周波数 f_2 の光を透過させる光フィルタ、 Sig_1 、 Sig_2 は光周波数 f_1 または f_2 の信号光、 P_{pp} は光周波数 f_p ($f_p = (f_1 + f_2) / 2$) のポンピング光である。以下、信号光 Sig_1 、 Sig_2 及びポンピング光 P_{pp} はその光周波数を明示するため、例えば光周波数 f_1 の信号光 Sig_1 は $Sig_1(f_1)$ というように()内に光周波数を付して表わすことにする。

ここで、第2図の構成において、光周波数 f_1 の信号光 $Sig_1(f_1)$ と光周波数 f_2 の信号

- 7 -

光 $Sig_2(f_2)$ の互いの光周波数を交換(入れ換える)し、光周波数 f_2 の信号光 $Sig_1(f_2)$ と光周波数 f_1 の信号光 $Sig_2(f_1)$ を出力する動作について、以下に説明する。

互いに光周波数を交換すべき二つの信号光 $Sig_1(f_1)$ 、 $Sig_2(f_2)$ が合波された光をハーフミラー HM_1 に入力する。これら信号光 $Sig_1(f_1)$ 、 $Sig_2(f_2)$ はハーフミラー HM_1 によって二つに分離され、一方は光フィルタ F_1 に、他方はミラー m_1 を介して光フィルタ F_3 に入力される。各々の光フィルタ F_1 、 F_3 の透過特性により、光フィルタ F_1 からは信号光 $Sig_1(f_1)$ が、光フィルタ F_3 からは信号光 $Sig_2(f_2)$ がそれぞれ出力される。これにより、信号光 $Sig_1(f_1)$ がハーフミラー HM_2 に、信号光 $Sig_2(f_2)$ がハーフミラー HM_4 に入力される。

次に、ハーフミラー HM_2 により信号光 $Sig_1(f_1)$ に、ハーフミラー HM_4 により信号光 $Sig_2(f_2)$ に、ポンピング光 $P_{mp}(f_p)$

- 8 -

がそれぞれ付加される。次に、信号光 $Sig_1(f_1)$ とポンピング光 $P_{mp}(f_p)$ は半導体光増幅器 a_1 に、信号光 $Sig_2(f_2)$ とポンピング光 $P_{mp}(f_p)$ は半導体光増幅器 a_2 に入力される。ここで、前述した電子キャリア数の振動により、半導体光増幅器 a_1 では、光周波数 $f_p + (f_p - f_1) = f_2$ の光が、半導体光増幅器 a_2 では、光周波数 $f_p - (f_p - f_1) = f_1$ の光が発生する。

このときに、ポンピング光 $P_{mp}(f_p)$ が無変調光であれば、新たに発生した光は、もとの入力信号光 $Sig_1(f_1)$ 、 $Sig_2(f_2)$ と同じ信号成分を有する。即ち、半導体光増幅器 a_1 の出力端からは信号光 $Sig_1(f_1)$ 、 $Sig_1(f_2)$ 及びポンピング光 $P_{mp}(f_p)$ が、半導体光増幅器 a_2 の出力端からは信号光 $Sig_2(f_2)$ 、 $Sig_2(f_1)$ 及びポンピング光 $P_{mp}(f_p)$ が出力され、光フィルタ F_2 、 F_4 にそれぞれ入力される。各々の光フィルタ F_2 、 F_4 の透過特性により、光フィルタ F_2 か

- 9 -

らは半導体光増幅器 a_1 の出力光の中から信号光 $Sig_1(f_2)$ のみが、光フィルタ F_4 からは半導体光増幅器 a_2 の出力光の中から信号光 $Sig_2(f_1)$ のみが出力される。

最後に、信号光 $Sig_1(f_2)$ とミラー m_2 を介した信号光 $Sig_2(f_1)$ とがハーフミラー HM_3 に入力されて合波される。これにより、光周波数が互いに交換された周波数 f_2 の信号光 $Sig_1(f_2)$ と周波数 f_1 の信号光 $Sig_2(f_1)$ のみが出力されることになる。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、上記装置では、光周波数を交換すべき二つの信号光 Sig_1 、 Sig_2 の分離、抽出、ポンピング光の挿入を別々に行なわなければならないため、部品点数の増加、構成の複雑化を招くという問題点があった。また、ハーフミラー等の光学系を用いているため、組立時の調整等に煩雑な手間を要するという問題点があった。

本発明の目的は、上記問題点に鑑み、入力信号光の分離、抽出並びにポンピング光の挿入を同時

- 10 -

に行なうことができ、しかも構成の簡素化、部品点数の削減を図れ、かつ組立が容易な光周波数交換装置を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

上記目的を達成するため、請求項(1)では、互いに光周波数の異なる第1及び第2の信号光の光周波数を交換する光周波数交換装置において、一の入力端から前記第1及び第2の信号光を、他の入力端からポンピング光を入力し、前記第1の信号光と前記ポンピング光とを合波して一の出力端に、前記第2の信号光と前記ポンピング光を合波して他の出力端に出力する光合分波器と、前記一の出力端からの出力光を入力し、前記第1の信号光の光周波数を前記第2の信号光の光周波数に変換した第1の光周波数変換光を発生する第1の半導体光増幅器と、前記光合分波器の他の出力端からの出力光を入力し、前記第2の信号光の光周波数を前記第1の信号光の光周波数に変換した第2の光周波数変換光を発生する第2の半導体光増幅器と、前記第1及び第2の半導体光増幅器による

- 11 -

生する第2の半導体光増幅器と、前記第1及び第2の半導体光増幅器の出力光の中から前記第1及び第2の光周波数変換光のみを抽出し、かつ、これら第1及び第2の光周波数変換光を合波する光抽出合波手段とを備え、前記第1のポンピング光の光周波数を、前記第1の信号光との光周波数差に対して、前記半導体光増幅器内の電子キャリアが応答可能であるように設定し、かつ、前記第2のポンピング光の光周波数を、前記第2の信号光との光周波数差が前記第1の信号光と前記第1のポンピング光との光周波数差と等しくなるように設定した。

(作用)

請求項(1)によれば、光合分波器の一の入力端に光周波数を交換する第1及び第2の信号光が入力されるとともに、他の入力端に第1及び第2の信号光の光周波数との光周波数差がいずれに対しても等しい、即ち、第1の信号光の光周波数と第2の信号光の光周波数との中間の値に光周波数が設定されたポンピング光が入力される。

- 13 -

第1及び第2の光周波数変換光を合波する光合波手段とを備え、前記ポンピング光の光周波数を、前記第1及び第2の信号光の光周波数との光周波数差がいずれに対しても等しくなるように設定した。

また、請求項(2)では、互いに光周波数の異なる第1及び第2の信号光の光周波数を交換する光周波数交換装置において、一の入力端から前記第1及び第2の信号光を、他の入力端から第1及び第2のポンピング光を入力し、前記第1の信号光と前記第1及び第2のポンピング光とを合波して一の出力端に、前記第2の信号光と前記第1及び第2のポンピング光とを合波して他の出力端に出力する光合分波器と、前記一の出力端からの出力光を入力し、前記第1の信号光の光周波数を前記第2の信号光の光周波数に変換した第1の光周波数変換光を発生する第1の半導体光増幅器と、前記光合分波器の他の出力端からの出力光を入力し、前記第2の信号光の光周波数を前記第1の信号光の光周波数に変換した第2の光周波数変換光を発生

- 12 -

光合分波器は、入力した第1の信号光と第2の信号光とを分離し、かつ、第1の信号光とポンピング光とを合波して一の出力端から第1の半導体光増幅器に出力するとともに、第2の信号光とポンピング光とを合波して他の出力端から第2の半導体光増幅器に出力する。

第1の半導体光増幅器は、第1の信号光とポンピング光の入力に伴う電子キャリア数の振動により、増幅作用を受けた新たな光である第1の信号光の光周波数を第2の信号光の光周波数に変換した第1の光周波数変換光を発生し、光合波手段に出力する。

同様に、第2の半導体光増幅器は、第2の信号光とポンピング光の入力に伴う電子キャリア数の振動により、増幅作用を受けた新たな光である第2の信号光の光周波数を第1の信号光の光周波数に変換した第2の光周波数変換光を発生し、光合波手段に出力する。

光合波手段は、入力した第1及び第2の光周波数変換光を合波し、これにより、当該光周波数交

- 14 -

換装置から、光周波数が交換された信号光が出力されることになる。

また、請求項(2)によれば、光合分波器の一の入力端に光周波数を交換する第1及び第2の信号光が入力されるとともに、他の入力端に光周波数が第1の信号光の光周波数との光周波数差に対して、半導体光増幅器内の電子キャリアが応答可能であるように設定された第1のポンピング光と、光周波数が第2の信号光の光周波数との光周波数差に対して、半導体光増幅器内の電子キャリアが応答可能であるように設定された第2のポンピング光が入力される。

光合分波器は、入力した第1の信号光と第2の信号光を分離し、かつ、第1の信号光と第1及び第2のポンピング光とを合波して一の出力端から第1の半導体光増幅器に出力するとともに、第2の信号光と第1及び第2のポンピング光とを合波して他の出力端から第2の半導体光増幅器に出力する。

次いで、第1の半導体光増幅器では、例えば第

— 15 —

半導体媒質の利得及び屈折率変動し、入力光に対して振幅及び位相変調がかかる。ここで、第1のポンピング光に変調がかかると、変調光周波数に応じた変調側帯波が生じる。これにより、第2の信号光の光周波数を第2の信号光の光周波数に変換した、増幅作用を受けた新たな光である第2の光周波数変換光が発生し、この第2の光周波数変換光、入力した第2の信号光、第1及び第2のポンピング光が光抽出合波手段に出力される。

光抽出合波手段は、入力した光のうち、第1及び第2の光周波数変換光のみを抽出し、さらにこれらを合波する。これにより、当該光周波数交換装置から光周波数交換された光信号のみが出力されることになる。

(実施例)

第1図は、本発明による光周波数交換装置の第1の実施例を示す構成図である。第1図において、M1はマッハツェンダ干渉計を基本構造とするマッハツェンダ光合分波器(以下、光合分波器という。)で、 2×2 の入出力端を有し、一の入力端

— 17 —

1の信号光と第1のポンピング光により光強度にビート振動が生じ、これにより第1の半導体光増幅器内の電子キャリア数が振動する。ここでは、第2のポンピング光は電子キャリア数の振動に影響を与えない。この電子キャリア数の振動により、半導体媒質の利得及び屈折率変動し、入力光に対して振幅及び位相変調がかかる。ここで、第2のポンピング光に変調がかかると、変調光周波数に応じた変調側帯波が生じる。これにより、第1の信号光の光周波数を第2の信号光の光周波数に変換した、増幅作用を受けた新たな光である第1の光周波数変換光が発生し、この第1の光周波数変換光、入力した第1の信号光、第1及び第2のポンピング光が光抽出合波手段に出力される。

同様に、第2の半導体光増幅器では、例えば第2の信号光と第2のポンピング光により光強度にビート振動が生じ、これにより第2の半導体光増幅器内の電子キャリア数が振動する。ここでは、第1のポンピング光は電子キャリア数の振動に影響を与えない。この電子キャリア数の振動により、

— 16 —

は光経路L11の一端に、他の入力端は光経路L12の一端に、一の出力端は光経路L13の一端に、他の出力端は光経路L14の一端にそれぞれ接続されている。さらに、光周波数が交換される光周波数 f_1 の第1の信号光 $Sig1(f_1)$ と光周波数 f_2 ($f_1 < f_2$)の第2の信号光 $Sig2(f_2)$ とが光経路L11を介して一の入力端に、光周波数 f_p が光周波数 f_1 と光周波数 f_2 との中間の値($f_p = (f_1 + f_2) / 2$)に設定された図示しない光源によるポンピング光 $Pmp(f_p)$ が光経路L12を介して他の入力端に入力されるようになっており、その入出力(透過)特性を第3図の(a)に示している。

第3図の(a)において、横軸は光周波数、縦軸はリニアスケールで示した透過率を表わしている。図中、実線で示す曲線は、光経路L11→光経路L13、光経路L12→光経路L14への光透過特性を示し、破線で示す曲線は、光経路L11→光経路L14、光経路L12→光経路L13への光透過特性を示している。即ち、当該光合分波器

— 18 —

M1は、入力した光のうち第1の信号光Sig1(f1)とポンピング光Pmp(fp)とを合波して一の出力端から光経路L13に出力し、一方第2の信号光Sig2(f2)とポンピング光Pmp(fp)とを合波して他の出力端から光経路L14に出力するように設定してある。

A1は第1の半導体光増幅器で、入力端が光経路L13の他端に、出力端が光経路L15の一端に接続されており、光経路L13を介して入力した光合分波器M1の出力光に基づいて、光周波数f1の第1の信号光Sig1(f1)を光周波数f2の信号光に変換した第1の光周波数変換光Sig1(f2)を新たに発生する。

A2は第2の半導体光増幅器で、入力端が光経路L14の他端に、出力端が光経路L16の一端に接続されており、光経路L14を介して入力した光合分波器M1の出力光に基づいて、光周波数f2の第2の信号光Sig2(f2)を光周波数f1の信号光に変換した第2の光周波数変換光Sig2(f1)を新たに発生する。

- 19 -

である。

次に、以上の構成による動作を説明する。

まず、光合分波器M1の一の入力端に、光経路L11を介して光周波数を交換する二つの信号光、即ち光周波数f1の第1の信号光Sig1(f1)と光周波数f2の第2の信号光Sig2(f2)が入力されるとともに、他の入力端に光周波数 $f_p = (f_1 + f_2) / 2$ のポンピング光Pmp(fp)が入力される。光合分波器M1は、三つの入力光(Sig1(f1), Sig2(f2), Pmp(fp))の光周波数に対して、前述した第3図の(a)のようにその光の入出力特性が設定されているので、第1の信号光Sig1(f1)とポンピング光Pmp(fp)を一の出力端から光経路L13を介して、第1の半導体光増幅器A1に出力し、第2の信号光Sig2(f2)とポンピング光Pmp(fp)を他の出力端から光経路L14を介して、第2の半導体光増幅器A2に出力する。

第1の半導体光増幅器A1は、前述(従来の技

- 21 -

M2は光合分波器で、一の入力端が光経路L15の他端に、他の入力端が光経路L16の他端に、一の出力端が光経路L17の一端に、他の出力端が光経路L18の一端にそれぞれ接続されている。第3図の(b)は当該光合分波器M2の光の入出力特性を示している。

第3図の(b)においても、上記した同図の(a)の場合と同様に、横軸は光周波数、縦軸は透過率を表わしている。図中、実線で示す曲線は、光経路L15→光経路L18、光経路L16→光経路L17への光透過特性を示し、破線で示す曲線は、光経路L15→光経路L17、光経路L16→光経路L18への光透過特性を示している。即ち、当該光合分波器M2は、入力した光のうち光経路L15から入力した光周波数f1の光は光経路L18へ、光経路L15から入力した光周波数f2の光は、光経路L17に出力し、一方、光経路L16から入力した光周波数f1の光は光経路L17に、光経路L16から入力した光周波数f2の光は光経路L18に出力するように設定し

- 20 -

術の項)したように、第1の信号光Sig1(f1)とポンピング光Pmp(fp)の入力に伴う電子キャリア数の振動により、増幅作用を受けた $f_p + (f_p - f_1) = f_2$ の新たな光である第1の光周波数変換光Sig1(f2)を発生し、この第1の光周波数変換光Sig1(f2)と入力した第1の信号光Sig1(f1)及びポンピング光Pmp(fp)をその出力端から光経路L15を介して、光合分波器M2の一の入力端に出力する。

同様に、第2の半導体光増幅器A2は、第2の信号光Sig2(f2)とポンピング光Pmp(fp)の入力に伴ない、増幅作用を受けた $f_p - (f_p - f_1) = f_1$ の新たな光である第2の光周波数変換光Sig2(f1)を発生し、この第2の光周波数変換光Sig2(f1)と入力した第2の信号光Sig2(f2)及びポンピング光Pmp(fp)をその出力端から光経路L16を介して、光合分波器M2の他の入力端に出力する。

光合分波器M2は六つの入力光(Sig1

- 22 -

(f_1), $Sig\ 2(f_1)$, $Pmp(f_p)$, $Sig\ 2(f_2)$, $Sig\ 2(f_1)$, $Pmp(f_p)$ の光周波数に対して、前述した第3図の(b)のように、光の出力特性が設定されているので、半導体光増幅器A1及びA2において光周波数変換された第1及び第2の光周波数変換光 $Sig\ 1(f_2)$, $Sig\ 2(f_1)$ 並びにポンピング光 $Pmp(f_p)$ を一の出力端から光経路L17に出力し、当該光周波数交換装置への入力光である第1及び第2の信号光 $Sig\ 1(f_1)$, $Sig\ 2(f_2)$ 並びにポンピング光 $Pmp(f_p)$ を他の出力端から光経路L18に出力する。

従って、当該光周波数交換装置においては、光経路L17を装置全体の出力端子とすることにより、光周波数交換された信号光が出力されることになる。

以上のように、本第1の実施例によれば、光周波数変換素子である第1及び第2の半導体光増幅器A1及びA2の入出力側に、 2×2 の入出力端

— 23 —

がかからず、新たな光周波数も生じなくなる。電子キャリアの緩和時間はサブナノ秒程度なので、光周波数 f_1 と f_2 の光周波数差は数GHz以内でなければならないことによる。

なお、光合分波器M1, M2の光の入出力特性は、第3図の(a)及び(b)に限定されるものではなく、山と谷の光周波数間隔及びその光周波数位置は任意に設定することが可能である。

第4図は、本発明による光周波数交換装置の第2の実施例を示す構成図である。本第2の実施例と前記第1の実施例の異なる点は、

①第1の半導体光増幅器A1の出力端と光合分波器M2の他の入力端を接続した光経路L15の途中に、第1の半導体光増幅器A1の出力光のうち光周波数 f_2 の光のみを透過する、例えばフアブリペロ・エタロンからなる光フィルタFL1を配置し(以下、光経路L15をL15-1とL15-2に分けて示す。)、第2の半導体光増幅器A2の出力端と光合分波器M2の他の入力端を接続した光経路L16の途中に、第2の半導体光増

— 25 —

を有するマッハツェンダ型の光合分波器M1及びM2を配置したので、光周波数を交換する二つの第1及び第2の信号光 $Sig\ 1(f_1)$, $Sig\ 2(f_2)$ の分離、並びにこれらへのポンピング光 $Pmp(f_p)$ の挿入を同時に行なえ、しかも装置全体の部品点数の削減、構成の簡素化を図れ、組立の容易な、光周波数交換装置を実現している。

また、本第1の実施例においては、半導体光増幅器A1, A2による光周波数変換は、変換された光である第1及び第2の光周波数変換光 $Sig\ 1(f_2)$, $Sig\ 2(f_1)$ 自体が、通過する半導体媒質中で増幅されるため、高効率な周波数変換が可能であり、また、電子キャリア数の振動を動作メカニズムとしているため、変換可能な光周波数範囲は数GHz程度となっている。このことは、電子キャリアの増減の速さはキャリア緩和時間で制限されるため、光周波数 f_1 と f_2 の光周波数差が電子キャリアの緩和時間の逆数より大きすぎると、光強度のビート振動にキャリアが追従できなくなり、入力光に対し振幅及び位相変調

— 24 —

幅器A2の出力光のうち、光周波数 f_1 の光のみを透過する光フィルタFL2を配置した点(以下、光経路L16をL16-1とL16-2に分けて示す。)、

②光周波数を交換する第1及び第2の信号光 $Sig\ 1(f_1)$ 及び $Sig\ 2(f_2)$ の光周波数差 ($f_2 - f_1$) が、そのビート振動に対し半導体光増幅器A1, A2内の電子キャリアが追従できない程度、即ち、前記第1の実施例の構成では、光周波数交換が不可能な光周波数に設定した点、

③光合分波器M1の他の入力端に入力する無変調のポンピング光として、光周波数が f_{p1} の第1のポンピング光 $Pmp\ 1(f_{p1})$ と光周波数 f_{p2} の第2のポンピング光 $Pmp\ 2(f_{p2})$ を採用し、第1のポンピング光 $Pmp\ 1(f_{p1})$ の光周波数 f_{p1} は、第1の信号光 $Sig\ 1(f_1)$ の光周波数 f_1 から四分の一周期分だけ離れた光周波数位置に設定し、同様に、第2のポンピング光 $Pmp\ 2(f_{p2})$ の光周波数 f_{p2} は、第2の信号光 $Sig\ 2(f_2)$ の光周波数

— 26 —

f_2 から四分の一周期分だけ離れた光周波数位置に設定してある点、

④ 光合分波器 M1 及び第 2 の光の入出力特性を、第 5 図の (a) 及び (b) のように設定した点、にある。

次に、この光合分波器 M1 及び M2 の入出力特性について、第 5 図の (a) 及び (b) に基づいて説明する。なお、第 5 図においても、前記第 3 図と同様に横軸は光周波数、縦軸は透過率を表わしている。

第 5 図の (a) は、光合分波器 M1 の光の入出力（透過）特性を示しており、図中、実線で示す曲線は、光経路 L11 → 光経路 L13、光経路 L12 → 光経路 L14 への光透過特性を示し、破線で示す曲線は、光経路 L11 → 光経路 L14、光経路 L12 → 光経路 L13 への光透過特性を示している。即ち、光合分波器 M1 の光透過特性は、例えば実線の山が光周波数 f_1 に、谷が光周波数 f_2 に位置するように設定し、かつ、隣り合う山と谷の間隔は数 GHz 内であるように設定してあ

- 27 -

次に、以上の構成による動作を説明する。

まず、光合分波器 M1 の一の入力端に、光経路 L11 を介して光周波数を交換する二つの信号光、即ち、光周波数 f_1 の第 1 の信号光 Sig1 (f_1) と光周波数 f_2 の第 2 の信号光 Sig2 (f_2) が入力されるとともに、他の入力端に光経路 L12 を介して光周波数 f_{p1} の第 1 のポンピング光 Pmp1 (f_{p1}) と光周波数 f_{p2} の第 2 のポンピング光 Pmp2 (f_{p2}) が入力される。光合分波器 M1 は、四つの入力光 (Sig1 (f_1), Sig2 (f_2), Pmp1 (f_{p1}), Pmp2 (f_{p2})) の光周波数に対して、前述した第 5 図の (a) のようにその光の入出力特性が設定されているので、第 1 の信号光 Sig1 (f_1) と第 1 及び第 2 のポンピング光 Pmp1 (f_{p1}), Pmp2 (f_{p2}) を一の出力端から光経路 L13 を介して、第 1 の半導体光増幅器 A1 に出力し、第 2 の信号光 Sig2 (f_2) と第 1 及び第 2 のポンピング光 Pmp1 (f_{p1}), Pmp2 (f_{p2}) を他の出力端から光経路

- 29 -

る。さらに、上記したように、第 1 のポンピング光 Pmp1 (f_{p1}) の光周波数 f_{p1} は、第 1 の信号光 Sig1 (f_1) の光周波数 f_1 から四分の一周期分だけ離れた光周波数位置（即ち、隣の谷との間）に設定してある。また、第 2 のポンピング光 Pmp2 (f_{p2}) の光周波数 f_{p2} は、第 2 の信号光 Sig2 (f_2) の周波数 f_2 から四分の一周期分だけ離れた光周波数位置に設定してある。光合分波器 M1 の光周波数周期は数 GHz であるので、 f_1 と f_{p1} との光周波数差及び f_2 と f_{p2} との光周波数差は数 GHz 内となっている。

同様に、第 5 図の (b) は、光合分波器 M2 の入出力特性を示しており、図中、実線で示す曲線は、光経路 L16-2 → 光経路 L17 への光透過特性を示しており、破線で示す曲線は、光経路 L15-2 → 光経路 L17 への光透過特性を示している。即ち、光合分波器 M2 では、光周波数 f_1 及び f_2 の光が合波されてその一の出力端から光経路 L17 に出力されるように設定されている。

- 28 -

L14 を介して、第 2 の半導体光増幅器 A2 に出力する。

これにより、半導体光増幅器 A1 において、次に述べる原理により、光周波数 f_1 から光周波数 f_2 への光周波数変換が生じる。

まず、 f_1 と f_{p1} との光周波数差は数 GHz 内であるので、第 1 の信号光 Sig1 (f_1) と第 1 のポンピング光 Pmp1 (f_{p1}) により光強度にビート振動が生じ、これにより第 1 の半導体光増幅器 A1 内の電子キャリア数が振動する。ここで、第 2 のポンピング光 Pmp2 (f_{p2}) は、数 GHz 以上離れた光周波数位置にあるので、電子キャリア数の振動には影響を与えない。この電子キャリア数の振動により、半導体媒質の利得及び屈折率が変動し、入力光に対し振幅及び位相変調がかかる。第 2 のポンピング光 Pmp2 (f_{p2}) に着目すると、第 2 のポンピング光 Pmp2 (f_{p2}) に変調がかかると変調光周波数に応じた変調側帯波が生じる。本第 2 の実施例の場合、変調光周波数は ($f_{p1} - f_1$) であるの

- 30 -

で、 $f_{p2} \pm (f_{p1} - f_1)$ の光周波数位置に変調側帯波が生じる。第5図の(a)に示した光周波数設定条件により、 $f_{p2} - (f_{p1} - f_1) = f_2$ であり、第1及び第2の $P_{mp1}(f_{p1})$ 、 $P_{mp2}(f_{p2})$ は無変調光であるので、光周波数 f_2 の位置に生じた側帯波は第1の信号光 S_{ig1} と同じ変調成分を持つ。即ち、光周波数 f_1 から光周波数 f_2 への光周波数変換が行われることになる。

以上の原理により、光経路 $L15-1$ には、第1の半導体光増幅器 $A1$ より光周波数変換された第1の光周波数変換光 $S_{ig1}(f_2)$ 、入力した第1の信号光 $S_{ig1}(f_1)$ 、二つの第1及び第2のポンピング光 $P_{mp1}(f_{p1})$ 、 $P_{mp2}(f_{p2})$ 及びその他の周波数光が出力される。次に、これらの光は、光フィルタ $FL1$ に入力される。光フィルタ $FL1$ は、光周波数 f_2 の光のみを透過させる特性を有するので、これにより、光経路 $L15-2$ には第1の光周波数変換光 $S_{ig1}(f_2)$ のみが出力され、光合分波器

- 31 -

第2の光周波数変換光 $S_{ig2}(f_1)$ は光経路 $L16-2$ から光経路 $L17$ へと透過され、出力される。従って、光周波数交換された信号光が光経路 $L17$ に出力されることになる。

以上のように、本第2の実施例によれば、前記第1の実施例と同様の効果を得ることができるとともに、第1の実施例において交換可能な二つの信号光の光周波数範囲が数 GHz 程度に制限されてしまうという課題を解決しており、数十 GHz 程度の信号光の光周波数交換が可能となっている。

なお、第2の実施例では、第1及び第2の半導体光増幅器 $A1$ 、 $A2$ の後段には、光フィルタ $FL1$ 、 $FL2$ とマッハツェンダ光合分波器 $M2$ が接続されているが、これはこの構成に限定されるものではなく、第1の半導体光増幅器 $A1$ の出力端では光周波数 f_1 の光を阻止し光周波数 f_2 の光を透過させ、第2の半導体光増幅器 $A2$ の出力端では光周波数 f_2 の光を阻止し光周波数 f_1 の光を透過させ、かつ、第2の半導体光増幅器 $A2$ 出力端から透過された光周波数 f_1 の光と、

- 33 -

$M2$ の一の入力端に入力される。

同様に第2の半導体光増幅器 $A2$ に、光経路 $L14$ より第2の信号光 $S_{ig2}(f_2)$ 、第1及び第2のポンピング光 $P_{mp1}(f_{p1})$ 、 $P_{mp2}(f_{p2})$ が入力されると、上記と同様の原理により、光経路 $L16-1$ には、光周波数変換された第2の光周波数変換光 $S_{ig2}(f_1)$ 、第2の信号光 $S_{ig2}(f_2)$ 、二つの第1及び第2のポンピング光 $P_{mp1}(f_{p1})$ 、 $P_{mp2}(f_{p2})$ 及びその他の周波数光が出力される。光フィルタ $FL2$ は、光周波数 f_1 の光のみを透過させる特性を有するので、光経路 $L16-2$ には第2の光周波数変換光 $S_{ig2}(f_1)$ のみが出力され、光合分波器 $M2$ の他の入力端に入力される。

光合分波器 $M2$ の入出力特性は、二つの入力光 ($S_{ig1}(f_2)$ 、 $S_{ig2}(f_1)$) の光周波数に対して、前述した第5図の(b)のように設定してあるので、第1の光周波数変換光 $S_{ig1}(f_2)$ は光経路 $L15-2$ から光経路 $L17$ へ、

- 32 -

第1の半導体光増幅器 $A1$ の出力端から透過された光周波数 f_2 の光を、同一端子に出力する機能をもつ構成ならばよい。例えば、干渉膜フィルタやグレーティングによる波長多重用の光合波器、または三つのマッハツェンダ光合分波器を組み合わせた四波多重用の光合分波器を用いれば、光周波数の抽出及び光の合波が同時に行われ、第5図と同様の動作が得られる。または、光周波数の抽出はファブリペロ・エタロンなどの光フィルタによって行い、その後の合波は通常の光カップラーを用いてもよい。

(発明の効果)

以上説明したように、請求項(1)によれば、光周波数変換素子である第1及び第2の半導体光増幅器の入力側に、第1の信号光とポンピング光を合波して第1の半導体光増幅器に入力させ、第2の信号光とポンピング光を合波して第2の半導体光増幅器に入力させる光合分波器を配置したので、光周波数を交換する第1及び第2の信号光の分離、ポンピング光のこれら信号光への押入を同時に行

- 34 -

なうことができ、しかも装置全体の部品点数の削減、構成の簡素化を図れ、しかも組立が容易に行なえる光周波数交換装置を実現できる。

また、第1及び第2の光周波数変換光は、第1及び第2の半導体光増幅器を通過中に増幅されるため、高効率な光周波数交換が可能である。

また、請求項(2)によれば、請求項(1)の効果に加えて、さらに広い光周波数範囲で信号光の光周波数交換が効率良く行なえる利点がある。

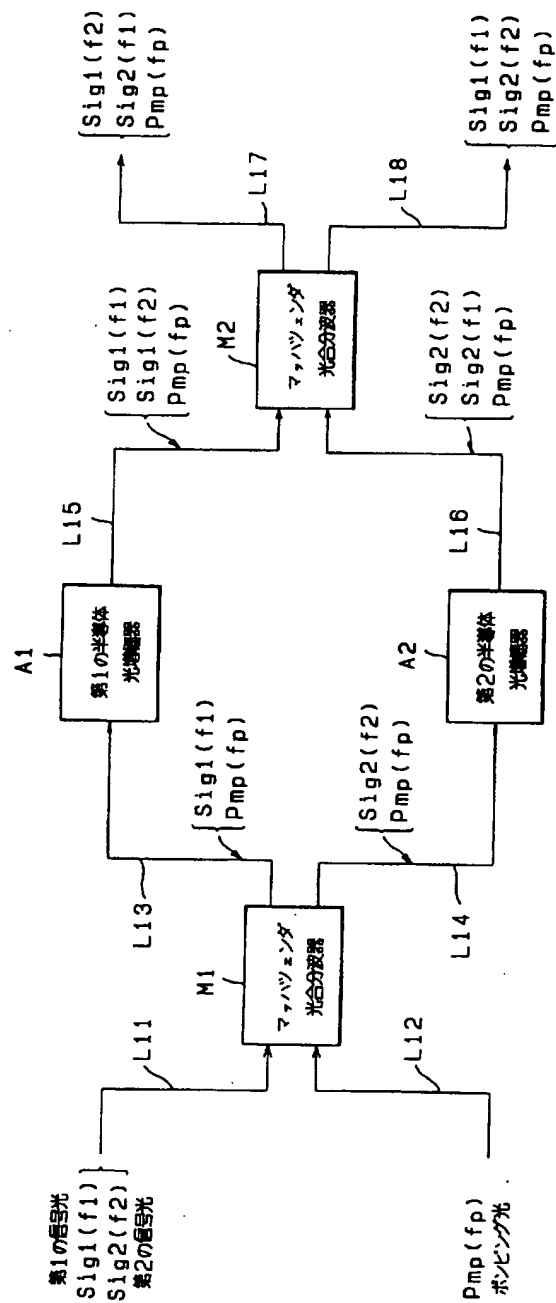
4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明による光周波数交換装置の第1の実施例を示す構成図、第2図は従来の光周波数交換装置の構成図、第3図は本発明に係る第1の実施例の光合分波器の入出力特性を示す図、第4図は本発明による光周波数交換装置の第2の実施例を示す構成図、第5図は本発明に係る第2の実施例の光合分波器の入出力特性を示す図である。

図中、M1、M2…マッハツェンダ光合分波器、A1…第1の半導体光増幅器、A2…第2の半導体光増幅器、FL1、FL2…光フィルタ、

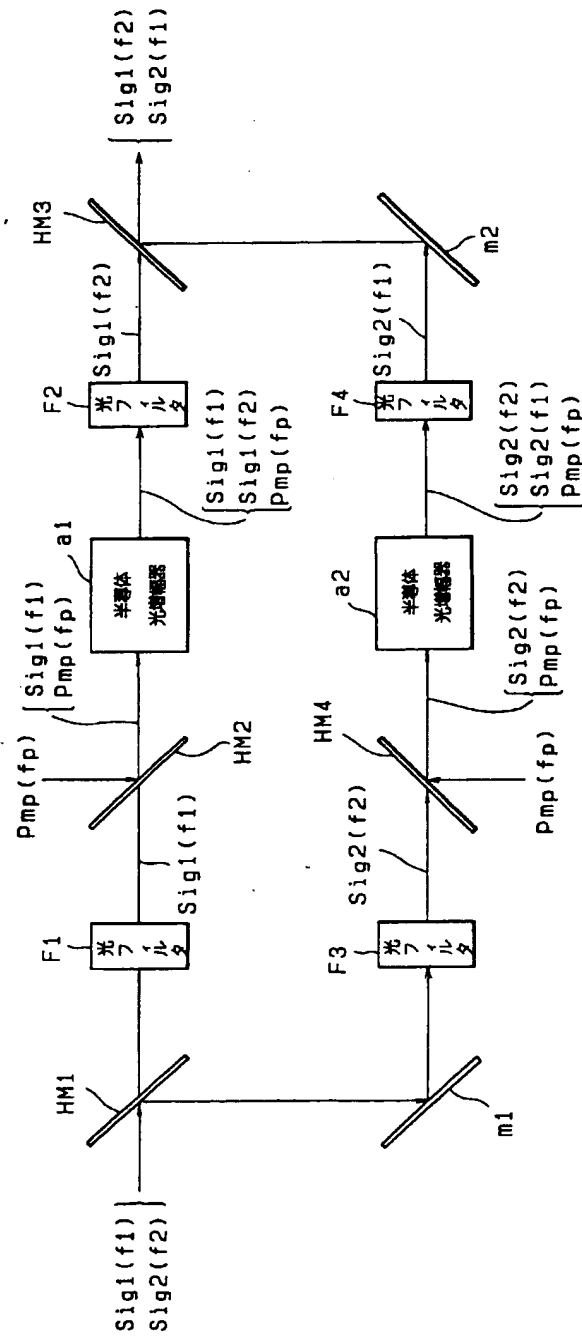
L11～L18…光経路、Sig1(f1)…第1の信号光、Sig2(f2)…第2の信号光、Sig1(f2)…第1の光周波数変換光、Sig2(f1)…第2の光周波数変換光、Pmp(fp)…ポンピング光、Pmp1(fp1)…第1のポンピング光、Pmp2(fp2)…第2のポンピング光。

特許出願人 日本電信電話株式会社
代理人 弁理士 吉田 精孝



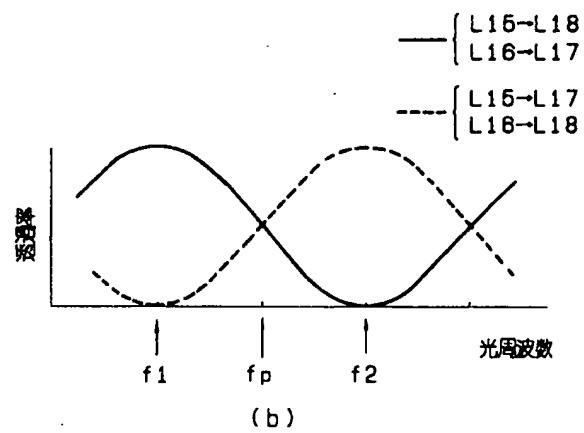
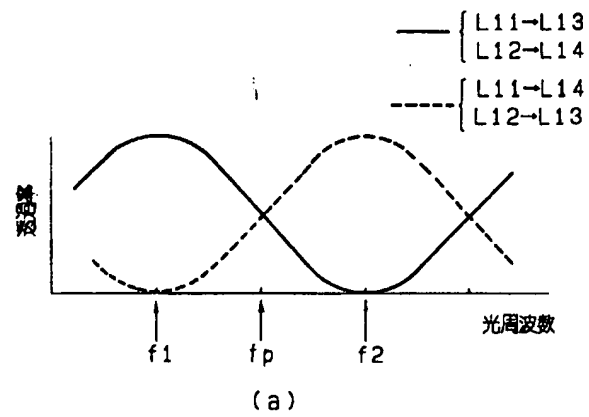
本発明の第1の実施例を示す構成図

第 1 図



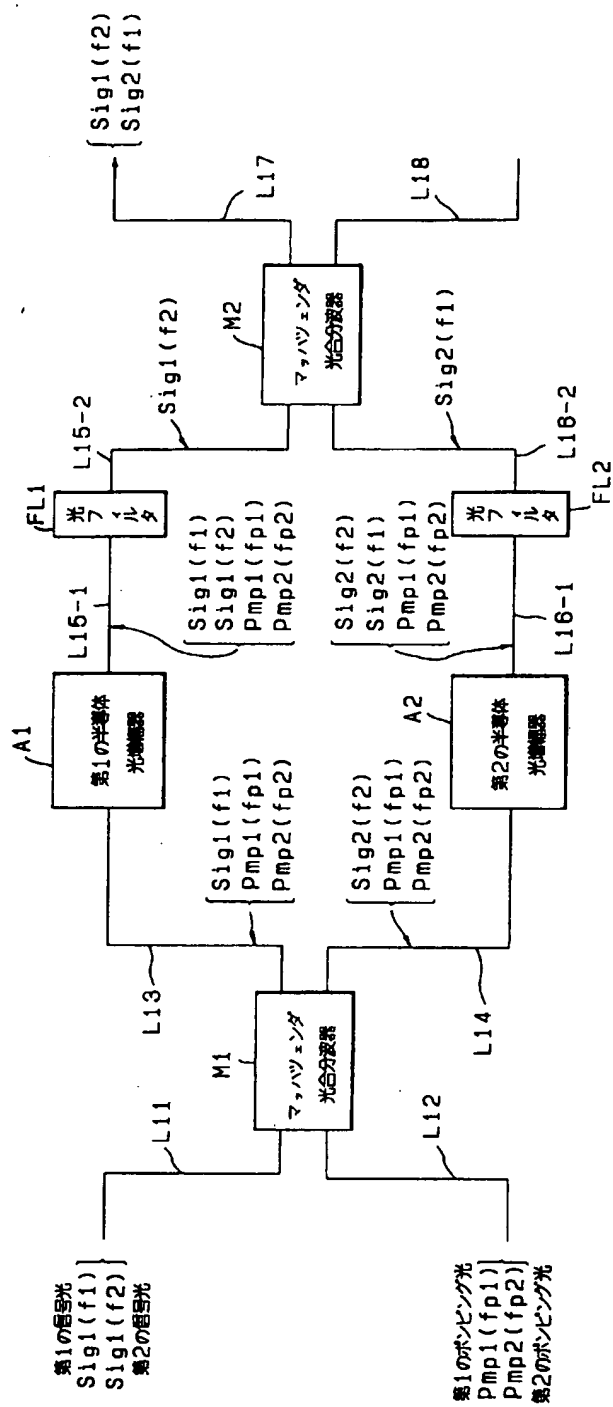
従来の光周波数交換装置の構成図

第 2 図



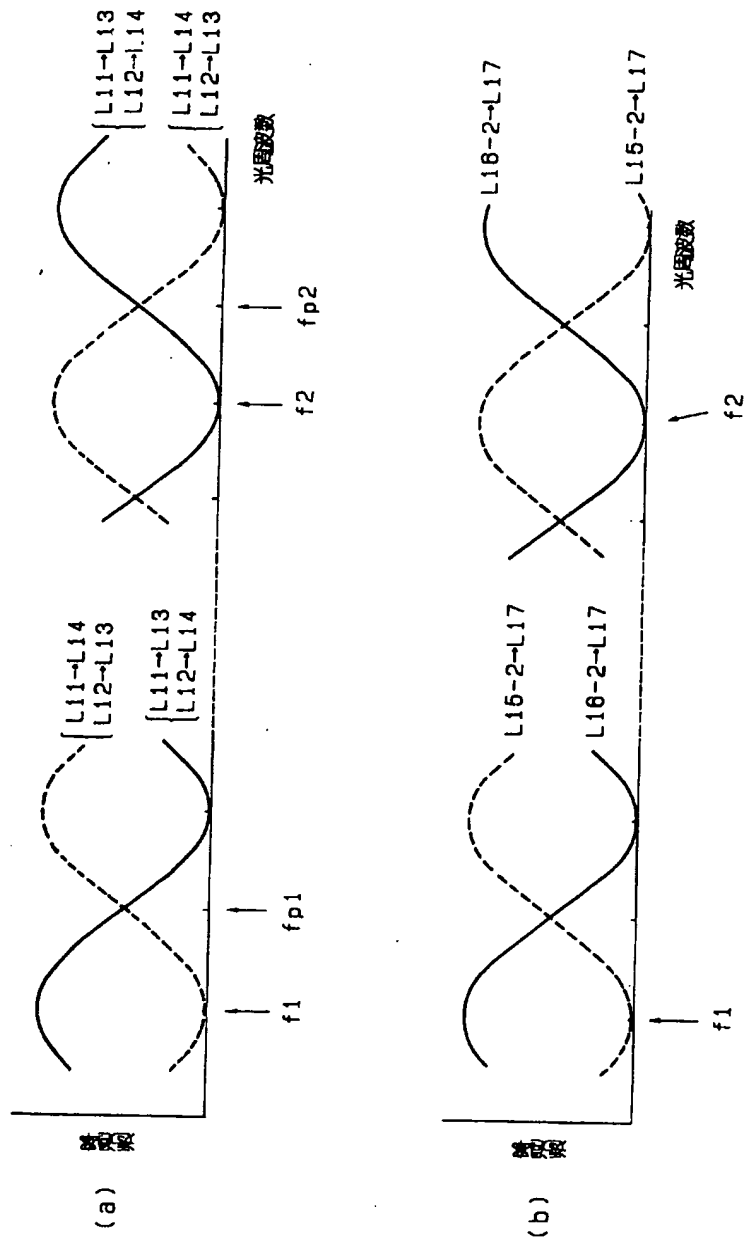
第1の実施例の光合波器の入出力特性を示す図

第 3 図



本発明の第2の実施例を示す構成図

第 4 図



第2の実施例の光合分波器の入出力特性を示す図

第 5 図

WEST**End of Result Set**

Generate Collection

Print

L13: Entry 14 of 14

File: JPAB

Jun 11, 1990

PUB-NO: JP402151842A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 02151842 A

TITLE: LIGHT FREQUENCY EXCHANGE DEVICE

PUBN-DATE: June 11, 1990

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

INOUE, YASUSHI

COUNTRY

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

NIPPON TELEGR & TELEPH CORP

COUNTRY

APPL-NO: JP63307233

APPL-DATE: December 5, 1988

US-CL-CURRENT: 359/115

INT-CL (IPC): G02F 2/02; H04B 10/02

ABSTRACT:

PURPOSE: To separate 1st and 2nd signal light beams and insert pumping light at the same time and to decrease the number of components and simplify the constitution by arranging an optical multiplexer demultiplexer which multiplexes the signal light beams and pumping light on the input side of a semiconductor optical amplifier and inputs the multiplexed light to the semiconductor amplifier.

CONSTITUTION: The 1st signal light beams Sig1 and Sig2 whose light frequencies are to be exchanged are inputted to one input end of the optical multiplexer demultiplexer M1 and the pumping light Pmp whose light frequency is set to an intermediate value between the light frequencies of the signal light beams Sig1 and Sig2 is inputted. The optical multiplexer demultiplexer M1 separates the input signal light beams Sig1 and Sig2 and also multiplexes the pumping light Pmp to output the resulting light beams to two semiconductor optical amplifiers A1 and A2. Those semiconductor optical amplifiers A1 and A2 generate light-frequency converting light beams, which are outputted to an optical multiplexing means M2. The optical multiplexing means M2 multiplexes the two input light-frequency converting light beams to output light-frequency converted signal light. Consequently, the constitution is simplified and the number of components is decreased.

COPYRIGHT: (C) 1990, JPO&Japio